

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ УФ-ЛАКАМИ НА ВІДБИТКАХ 3D-СТРУКТУР

В. Б. Репета

Українська академія друкарства

вул. Під Голоском, 19, Львів, Львівська область, 79061, Україна

Розроблення нових матеріалів і удосконалення технології лакування друкарських відбитків з точки зору підвищення енергоефективності і експлуатаційних показників відкрило нові можливості для створення на поверхні відбитків різноманітних за своїми функціями покриттів. У даній роботі на основі попередніх досліджень побудовано прогностичну модель впливу в'язкості УФ-лаку і поверхневої енергії відбитків на висоту створених 3D-структур. Реалізацію моделі здійснено з використанням основ нечіткої логіки. Відповідно, для факторів, як лінгвістичних змінних було встановлено універсальні множини, задано нечіткі терми і побудовано нечітку базу знань. Сформовані правила нечіткої бази знань дозволили побудувати функції належності та на їх основі графічну модель впливу в'язкості і поверхневої енергії на висоту 3D-елементів. Адекватність моделі перевірено з допомогою FIS-редактора програми Matlab і встановлено, що в'язкість УФ-лаку в межах 13-14 Па·с забезпечує максимальну висоту 3D-елементів на поверхні відбитка з енергією 40-42 мН/м. Отримані прогностичні результати відтворюють експериментальні спостереження, у яких збільшення в'язкості лаку зменшує швидкість розтікання і зводить до мінімуму вплив поверхневої енергії як рушійної сили у процесі розтікання рідини.

Ключові слова: *УФ-лаки, оздоблення відбитків, 3D-структури, мітка доповненої реальності, прогностична модель, нечітка логіка.*

Постановка проблеми. Можливості застосування УФ-лаків для оздоблення відбитків вже давно вийшли за межі звичайного формування захисних покриттів з зміною оптичних показників (надання глянцевого чи матового ефекту). Наступним продовженням технології УФ-лакування стало створення вибірових лакових елементів шрифту Брайля, нанесення носія ароматів, лакових зображень з пігментами, які виокремлюють зображення завдяки дифракційним оптичним ефектам. Все це стало можливим завдяки розробці фотополімеризаційноздатних лакових композицій (УФ-лаків). УФ-лаки - це фотополімеризаційноздатні прозорі композиції, які після нанесення на поверхню відбитків полімеризуються під дією актинічного УФ-випромінювання [1]. Такі композиції є так званими 100% системами, бо не містять летких розчинників, випаровування яких шкодить навколишньому середовищу. Про переваги УФ-лаків свідчать результати аналітичного дослідження компанії Spherical Insights & Consulting, згідно яких, в період 2023-2033 р. прогнозується

середньорічний темп зростання на 7,98 % і досягненням величини 3,62 мільярдів доларів США [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз публікацій показує, що публікації, які стосуються нанесення УФ-лаків на поверхню відбитків діляться на два напрями: нанесення лаків традиційними способами друку (лакувальними апаратами різного типу і трафаретним способом) або використанням цифрового струменевого способу нанесення лаку.

У роботі [3] досліджується можливість відтворення шрифту Брайля методом УФ-струменевого пошарового друку на самоклеючих етикетках, попередньо надрукованих за технологією флексографічного друку. Робота [4] присвячена створенню рельєфних елементів трафаретним способом друку із застосуванням сіток двох лінійтур і лаків з різною в'язкістю. Встановленню пріоритету впливу факторів на процес УФ-лакування присвячена робота [5], у якій застосуванням методу ранжування розраховано фактори рангів процесу нанесення лакових елементів тактильних шрифтів на відбитки. У роботі [6] представлені результати дослідження, у якому для створення рельєфних елементів використано 3D-термофарбу і встановлено, що достатнім є нанесення трафаретним способом одного фарбового шару з меншими мікросферами, але з більшою товщиною і з додатковим лакуванням для збільшення довговічності відбитків. У статті [7] визначено атрибути якості зображення, на які впливає нанесення текстурованого УФ-лаку для створення ефекту візерунка на офсетний відбитках.

Окрім створення УФ-лаками різноманітних спеціальних оптичних ефектів, рельєфів і тактильних знаків на відбитках, сформовані 3D-структури можуть виконувати ще додаткову функцію - служити мітками для наступного сканування для візуалізації об'єктів доповненої реальності, що вимагає забезпечення відповідності заданим параметрам якості.

Мета статті – Розробити модель прогнозування якості процесу формування УФ-лаками 3D структур на друкарських відбитках, як результату аналізу і дотримання встановлених режимів технологічного процесу та використання знань у нечіткій формі.

Методи досліджень. Для побудови прогностичної моделі було використано засади нечіткої логіки. Науковець Л. Заде заклав основи нечіткої логіки і запропонував поняття універсальної множини для проблемної області. Нечітка логіка дає можливість використовувати кількісні та якісні бази знань, отримані як експериментально, так і шляхом експертного опитування персоналу, який володіє досвідом, обслуговуючи відповідне поліграфічне обладнання. Одержана база знань складається з сукупності правил, які пов'язують між собою низку вхідних лінгвістичних змінних з вихідним результатом [8].

Загалом оцінювання якості процесів засобами нечіткої логіки включає наступні кроки:

- виокремлених факторів якості процесу (лінгвістичних змінних);
- встановлення універсальної множини та відповідних їй лінгвістичних термів
- визначення відповідного інтервалу значень універсальної множини та отримання функцій належності;

- розроблення нечіткої бази знань з використанням нечітких логічних висловлювань «Якщо – Тоді»;
- побудова нечітких логічних рівнянь на підставі матриці знань і функцій належності, які визначають зв'язок між функціями належності вхідних та вихідних даних;
- дефазифікація нечіткої множини, суть якої полягає в розрахунку числового показника прогнозованої якості, наприклад, за методом центра ваги плоскої фігури [8, 9].

Нечітка логіка розглядається як спроба формалізації людських можливостей: здатності спілкуватися, міркувати та приймати раціональні рішення в середовищі неточності, невизначеності, неповноти інформації, суперечливої інформації і здатності виконувати завдання без будь-яких вимірювань і будь-яких обчислень [10].

Реалізацію цих кроків проведемо з допомогою модуля Fuzzy Logic Toolbox програмного пакету Matlab.

Виклад основного матеріалу дослідження. У попередньому дослідженні [4] було експериментально встановлено вплив в'язкості УФ-лаків і поверхневої енергії відбитків на рельєфність сформованих на флексографічних відбитках лакових елементів. Отже, якість процесу створення 3D-структур УФ-лаками залежить у першу чергу від в'язкості УФ-лаку і поверхневої енергії відбитка:

$$Q = f(V, E), \quad (1)$$

де V – лінгвістична змінна, яка характеризує в'язкість УФ-лаку;

E – лінгвістична змінна, яка характеризує величину поверхневої енергії відбитка.

У табл. 1 наведено оціночні терми для лінгвістичних змінних, які забезпечують якість процесу формування 3D-структур УФ-лаками.

Таблиця 1

Фактори якості процесу формування 3D-структур УФ-лаками

Позначення	Назва змінної	Універсальна множина	Нечіткий терм
V	В'язкість УФ-лаку, Па×с	6-14	висока
			середня
			низька
E	Поверхнева енергія відбитка, мН/м	37-42	достатня
			середня
			висока

Під параметром „Якість процесу формування 3D-структур” розуміється забезпечення необхідної висоти 3D-елементів. У нашому випадку висоту задано у межах 40-100 мкм з такою ж відповідністю у відсотках. Сформуємо нечітку базу знань оцінювання параметра «Якість процесу 3D-структур» за допомогою набору нечітких правил «якщо - тоді»:

- якщо ($V \in \text{«Велика»}$) і ($E \in \text{«Висока»}$) тоді ($Q \in \text{«Середнім»}$).
- якщо ($V \in \text{«Велика»}$) і ($E \in \text{«Достатня»}$) тоді ($Q \in \text{«Висока»}$).
- якщо ($V \in \text{«Середня»}$) і ($E \in \text{«Достатня»}$) тоді ($Q \in \text{«Середня»}$).
- якщо ($V \in \text{«Низька»}$) і ($E \in \text{«Висока»}$) тоді ($Q \in \text{«Низька»}$).
- якщо ($V \in \text{«Низька»}$) і ($E \in \text{«Середня»}$) тоді ($Q \in \text{«Середня»}$).
- якщо ($V \in \text{«Середня»}$) і ($E \in \text{«Висока»}$) тоді ($Q \in \text{«Середня»}$).

Побудуємо функції належності для змінної «Поверхнева енергія». Значення показника визначено на універсальній множині: $u_1 = 37$ мН/м; $u_2 = 38$ мН/м; $u_3 = 39$ мН/м; $u_4 = 40$ мН/м; $u_5 = 41$ мН/м; $u_6 = 42$ мН/м. Для лінгвістичної оцінки цього показника використовуємо сукупність нечітких термів: $T(E) = \langle \text{достатня, середня, висока} \rangle$. Відповідно, отримаємо функції належності лінгвістичної змінної «Поверхнева енергія відбитка» (рис. 1).

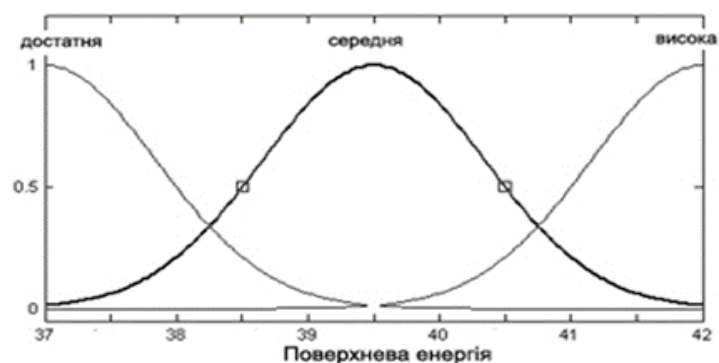


Рис. 1. Функції належності змінної „Поверхнева енергія відбитка”

Значення для показника «В’язкість УФ-лаку» визначимо на універсальній множині: $u_1 = 6$ Па·с; $u_2 = 8$ Па·с; $u_3 = 10$ Па·с; $u_4 = 12$ Па·с; $u_5 = 14$ Па·с. Для лінгвістичної оцінки цього показника використовуємо сукупність нечітких термів: $T(V) = \langle \text{низька, середня, велика} \rangle$. Аналогічно отримаємо функції належності лінгвістичної змінної «В’язкість УФ-лаку» (рис. 2).

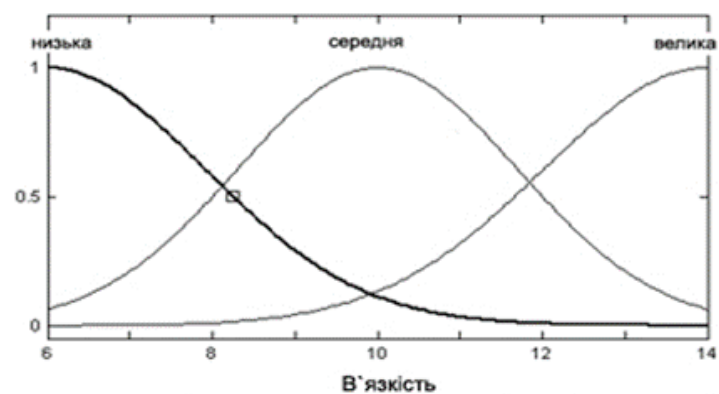


Рис. 2. Функції належності змінної „В’язкість УФ-лаку”

Градація лінгвістичної змінної Q «Якість процесу формування 3D-структур» визначається діапазоном: висока – 100 %; низька – 40 %.

Залежність вихідного параметра Q від значення в'язкості лаку і поверхневої енергії розраховано на основі алгоритму Мамдані [11] з дефазифікацією за принципом «Центр ваги» [12]. Результат обробки введеної бази нечітких правил показано на рис. 3.

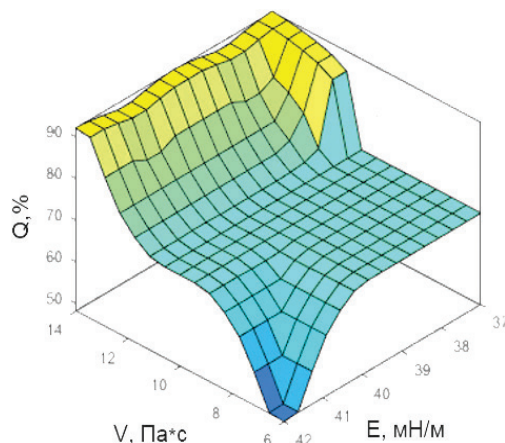


Рис.3. Графічна модель впливу в'язкості УФ-лаку (E) і поверхневої енергії відбитка (V) на висоту сформованих 3D елементів

Для прикладу, у табл. 2 показано деякі варіанти впливу в'язкості і поверхневої енергії на висоту УФ-лакових 3D-елементів, як результату обробки нечітких правил FIS-редактором за алгоритмом Мамдані.

Таблиця 2

Значення висоти 3D-елементів як результату моделювання

№	В'язкість УФ-лаку, Па·с	Поверхнева енергія відбитка, мН/м	Висота (параметр якості Q), %
1	14	40	91
2	11	39	70
3	9	41	69
4	6	42	48

Адекватність моделі перевірено з допомогою FIS-редактора програми Matlab і встановлено, що в'язкість УФ-лаку в межах 13-14 Па·с забезпечує максимальну висоту 3D-елементів на поверхні відбитка з енергією 40-42 мН/м. Отримані прогностичні результати відтворюють експериментальні спостереження, у яких збільшення в'язкості лаку зменшує швидкість розтікання і зводить до мінімуму вплив поверхневої енергії як рушійної сили у процесі розтікання рідини. Контрольованість параметрів якості нанесення на друкарський відбиток 3D-елементів дозволяє

розширити функції нанесених на відбитки рельєфних структур, зокрема як мітки доповненої реальності.

Висновки. Отже, у роботі на основі попередніх досліджень побудовано прогностичну модель впливу в'язкості УФ-лаку і поверхневої енергії відбитків на висоту створених 3D-структур. Побудову прогностичної моделі проведено з використанням основ нечіткої логіки. Для факторів як лінгвістичних змінних було встановлено універсальні множини, задано нечіткі терми і побудовано нечітку базу знань. Реалізацію цих кроків проведемо з допомогою модуля Fuzzy Logic Toolbox програмного пакету Matlab. Сформовані правила нечіткої бази знань дозволили побудувати функції належності та на їх основі графічну модель впливу в'язкості і поверхневої енергії на якість процесу формування 3D-елементів на друкарських відбитках. Сформовані правила і нечітка база знань дозволили побудувати функції належності і на їх основі графічну модель впливу в'язкості УФ-лаку і поверхневої енергії на висоту 3D-елементів. Адекватність моделі перевірено з допомогою FIS-редактора програми Matlab. Отримані результати відтворюють експериментальні спостереження, у яких збільшення в'язкості лаку зменшує швидкість розтікання і зводить до мінімуму вплив поверхневої енергії як рушійної сили у процесі розтікання рідини. Контрольованість і прогностичність параметрів процесу дає можливість розширити функції нанесених на відбитки лакових 3D-елементів, зокрема як мітки доповненої реальності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Репета В. Б. Матеріали і технології лакування поліграфічної продукції: навчальний посібник / В. Б. Репета, В. В. Шибанов. – Львів: НВЛІПТ УАД, 2011. – 136 с.
2. Global Overprint Varnish Market Size To Exceed USD 3.62 Billion By 2033. URL: https://www-sphericalinsights-com.translate.goog/press-release/overprint-varnish-market?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=uk&_x_tr_hl=uk&_x_tr_pto=sc
3. Milos S., Vujcic D., Majnaric I. Use and analysis of UV varnish printed braille information on commercial packaging products. Journal of Graphic Engineering and Design, 12(4), pp. 5-15. URL: <https://doi.org/10.24867/JGED-2021-4-005>
4. Piknevych S., Repeta V. Research of the relief images forming process on the imprints by means of screen UV-varnishes. Journal of Graphic Engineering and Design, 5(1), pp. 13-16. URL: <https://doi.org/10.24867/JGED-2014-1-013>
5. Repeta V., Senkivsky V., Piknevych S. Calculation of the importance of quality factors in braille application process on labels by screen UV-varnishes. Journal of Graphic Engineering and Design, 5(2), pp. 5-8. <https://doi.org/10.24867/JGED-2014-2-005>
6. Karin Kukec, Rasa Urbas. Printing Braille With Special Expandable Screen Printing Inks. Conference: 8th Conference on Information and Graphic Arts Technology, June, 2018. URL: https://www.researchgate.net/publication/339499848_PRINTING_BRILLE_WITH_SPECIAL_EXPANDABLE_SCREEN_PRINTING_INKS
7. Dolic J., Pibernik J., Majnaric I.. Influence of UV Varnish Pattern Effect on Print Quality Journal of Imaging Science and Technology, November, 2014. DOI: 10.2352/J.ImagingSci.Technol.2014.58.6.060501

8. Yager A R. R., Zadeh L. A. An introduction to fuzzy logic applications in intelligent systems, Springer Science & Business Media, 2012, 356 p.
9. Senkivskyy V., Pikh I., Senkivska N. et al, Forecasting assessment of printing process quality, ISDMCI 2020: Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making, Springer, pp 467-479.
10. Zimmerman H. J. Fuzzy Set Theory and Its Applications, Springer Science+Business Media, 2001, 525 p.
11. Izquierdoa S., Izquierdob L. Mamdani Fuzzy Systems for Modelling and Simulation: A Critical Assessment, Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2018, 21 (3), URL: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/21/3/2.html>.
12. Rotshtein A., Shtovba S. Influence of Defuzzification Methods on the Rate of Tuning a Fuzzy Model. Cybernetics and Systems Analysis 38, 2002, pp. 783–789. URL: <https://doi.org/10.1023/A:1021851228684>.

REFERENCES

1. Repeta V.B., Shybanov V.V. Materials and technologies for varnishing printed products: a study guide. Lviv, UAP, 2011. 136 p. (in Ukrainian).
2. Global Overprint Varnish Market Size To Exceed USD 3.62 Billion By 2033. URL: https://www-sphericalinsights-com.translate.google/press-release/overprint-varnish-market?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=uk&_x_tr_hl=uk&_x_tr_pto=sc
3. Milos, S., Vujcic, Dorđe, & Majnaric, I. (2021). Use and analysis of UV varnish printed braille information on commercial packaging products. Journal of Graphic Engineering and Design, 12(4), 5–15. <https://doi.org/10.24867/JGED-2021-4-005>
4. Piknevych, S., & Repeta, V. (2014). Research of the relief images forming process on the imprints by means of screen UV-varnishes. Journal of Graphic Engineering and Design, 5(1), 13–16. <https://doi.org/10.24867/JGED-2014-1-013>
5. Repeta, V., Senkivsky, V., & Piknevych, S. (2014). Calculation of the importance of quality factors in braille application process on labels by screen UV-varnishes. Journal of Graphic Engineering and Design, 5(2), 5–8. <https://doi.org/10.24867/JGED-2014-2-005>
6. Karin Kukec, Rasa Urbas (2018). Printing Braille With Special Expandable Screen Printing Inks Conference: 8th Conference on Information and Graphic Arts Technology June 2018 https://www.researchgate.net/publication/339499848_PRINTING_BRAILLE_WITH_SPECIAL_EXPANDABLE_SCREEN_PRINTING_INKS
7. Dolic Jurica, Pibernik Jesenka, Majnaric Igor (2014) Influence of UV Varnish Pattern Effect on Print Quality Journal of Imaging Science and Technology, November, 2014/ DOI : 10.2352/J. ImagingSci.Technol.2014.58.6.060501
8. A R. R. Yager, L. A. Zadeh (2012) An introduction to fuzzy logic applications in intelligent systems, Springer Science & Business Media, 2012, 356 p.
9. V. Senkivskyy, I. Pikh, N. Senkivska et al (2020) Forecasting assessment of printing process quality, ISDMCI 2020: Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making, Springer, pp 467-479.
10. H. J. Zimmerman (2001). Fuzzy Set Theory and Its Applications, Springer Science+Business Media, 525 p.

11. S. Izquierdoa, L. Izquierdob (2018). Mamdani Fuzzy Systems for Modelling and Simulation: A Critical Assessment, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 21 (3), URL: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/21/3/2.html>.
12. A. Rotshtein, S. Shtovba (2002). Influence of Defuzzification Methods on the Rate of Tuning a Fuzzy Model. *Cybernetics and Systems Analysis* 38, 2002, pp. 783-789. <https://doi.org/10.1023/A:1021851228684>.

doi: 10.32403/0554-4866-2024-2-88-11-18

MODEL FOR FORECASTING THE QUALITY OF THE FORMATION PROCESS 3D STRUCTURES USED OF UV-VARNISHES ON IMPRINTS

V. B. Repeta

*Ukrainian Academy of Printing,
St. Pod Goloskom, 19, Lviv, 79061, Ukraine
viacheslav.b.repeta@lpnu.ua*

The development of new materials and the improvement of printing print varnishing technology from the point of view of increasing energy efficiency and operational indicators have opened up new opportunities for creating coatings with various functions on the surface of prints. In this work, based on previous studies, a predictive model of the effect of the viscosity of UV varnish and the surface energy of prints on the height of the created 3D structures was built. The model was implemented using the principles of fuzzy logic. Accordingly, universal sets were established for the factors as linguistic variables, fuzzy terms were set, and a fuzzy knowledge base was built. Defuzzification of fuzzy data was carried out according to the «Center of gravity» principle. The formed rules of the fuzzy knowledge base made it possible to build membership functions and, based on them, a graphic model of the influence of viscosity and surface energy on the height of 3D elements. The adequacy of the model was checked using the FIS-editor of the Matlab program and it was established that the viscosity of the UV varnish in the range of 13-14 Pa·s ensures the maximum height of 3D elements on the surface of the print with an energy of 40-42 mN/m. The obtained prognostic results reproduce the experimental observations, in which an increase in the viscosity of the varnish reduces the spreading rate and minimizes the effect of surface energy as a driving force in the process of liquid spreading..

Keywords: *UV-varnishes, print finishing, 3D structure, augmented reality tag, predictive model, fuzzy logic.*

Стаття надійшла до редакції 05.07.2024.

Received 05.07.2024.